



Europäisches  
Patentamt

European  
Patent Office

Office européen  
des brevets

PCT/EP 03 / 08558  
0 / 525026

22 FEB 2005

REC'D 16 OCT 2003

WIPO PCT

Bescheinigung

Certificate

Attestation

Die angehefteten Unterla-  
gen stimmen mit der  
ursprünglich eingereichten  
Fassung der auf dem näch-  
sten Blatt bezeichneten  
europäischen Patentanmel-  
dung überein.

The attached documents  
are exact copies of the  
European patent application  
described on the following  
page, as originally filed.

Les documents fixés à  
cette attestation sont  
conformes à la version  
initialement déposée de  
la demande de brevet  
européen spécifiée à la  
page suivante.

Patentanmeldung Nr. Patent application No. Demande de brevet n°

02018897.5

**PRIORITY DOCUMENT**  
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH  
RULE 17.1(a) OR (b)

Der Präsident des Europäischen Patentamts;  
Im Auftrag

For the President of the European Patent Office

Le Président de l'Office européen des brevets  
p.o.

R C van Dijk

BEST AVAILABLE COPY



Anmeldung Nr:  
Application no.: 02018897.5  
Demande no:

Anmeldetag:  
Date of filing: 23.08.02  
Date de dépôt:

Anmelder/Applicant(s)/Demandeur(s):

SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT  
Wittelsbacherplatz 2  
80333 München  
ALLEMAGNE

Bezeichnung der Erfindung/Title of the invention/Titre de l'invention:  
(Falls die Bezeichnung der Erfindung nicht angegeben ist, siehe Beschreibung.  
If no title is shown please refer to the description.  
Si aucun titre n'est indiqué se référer à la description.)

Verfahren zur zerstörungsfreien Prüfung eines Bauteils sowie zur Herstellung  
einer Gasturbinenschaufel

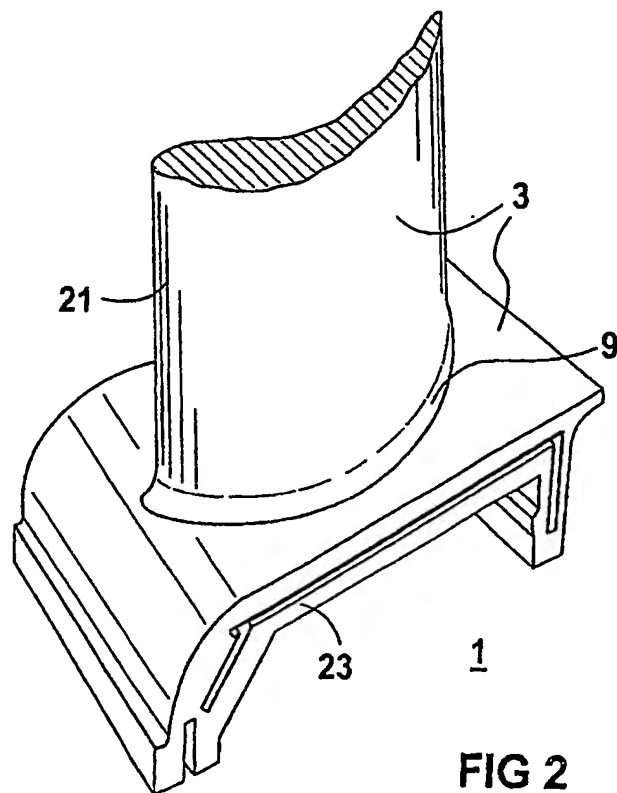
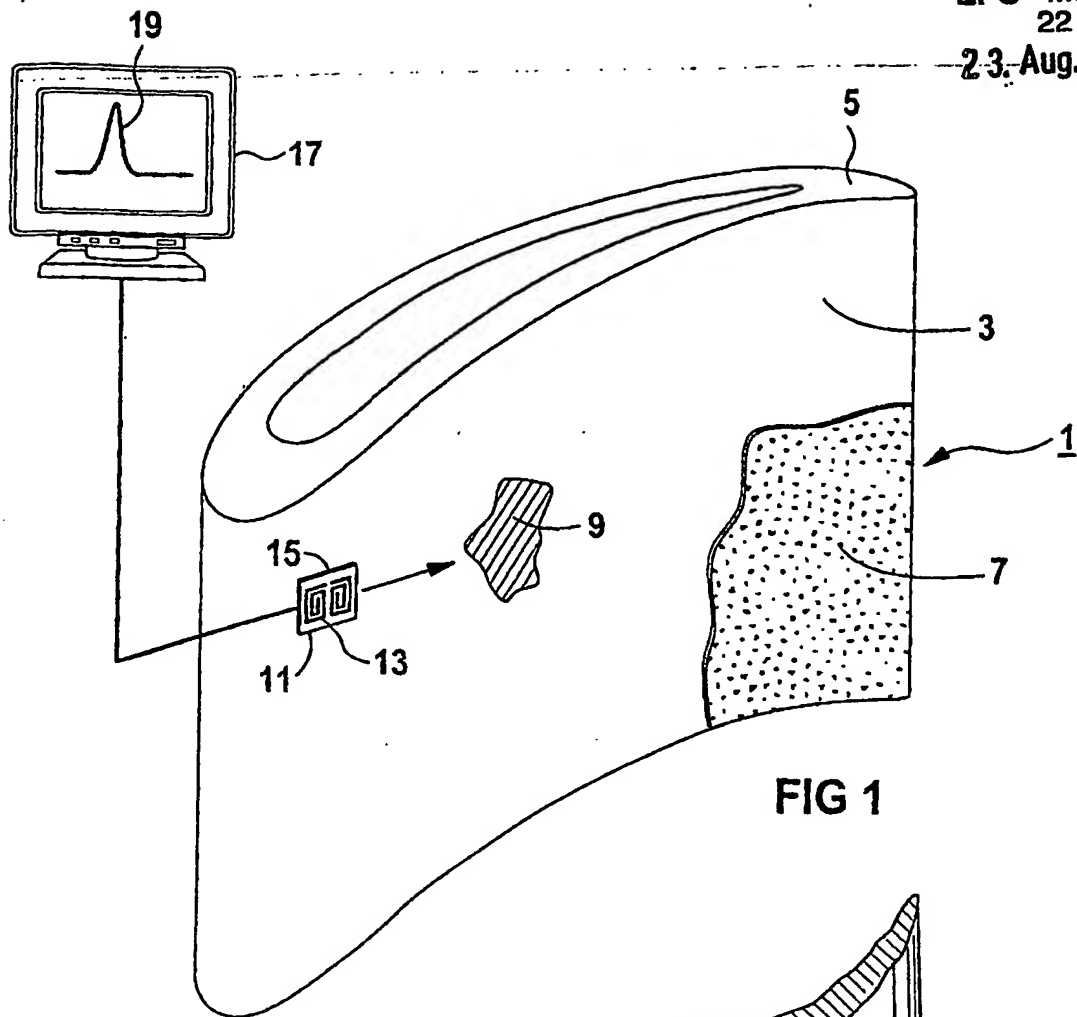
In Anspruch genommene Priorität(en) / Priority(ies) claimed /Priorité(s)  
revendiquée(s)  
Staat/Tag/Aktenzeichen/State/Date/File no./Pays/Date/Numéro de dépôt:

Internationale Patentklassifikation/International Patent Classification/  
Classification internationale des brevets:

F01D/

Am Anmeldetag benannte Vertragsstaaten/Contracting states designated at date of  
filing/Etats contractants désignées lors du dépôt:

AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR IE IT LI LU MC NL PT SE SK TR



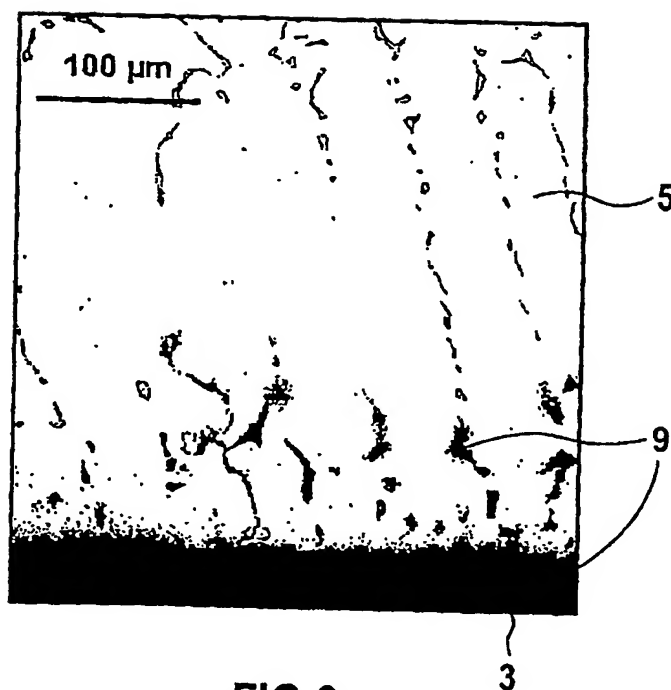


FIG 3

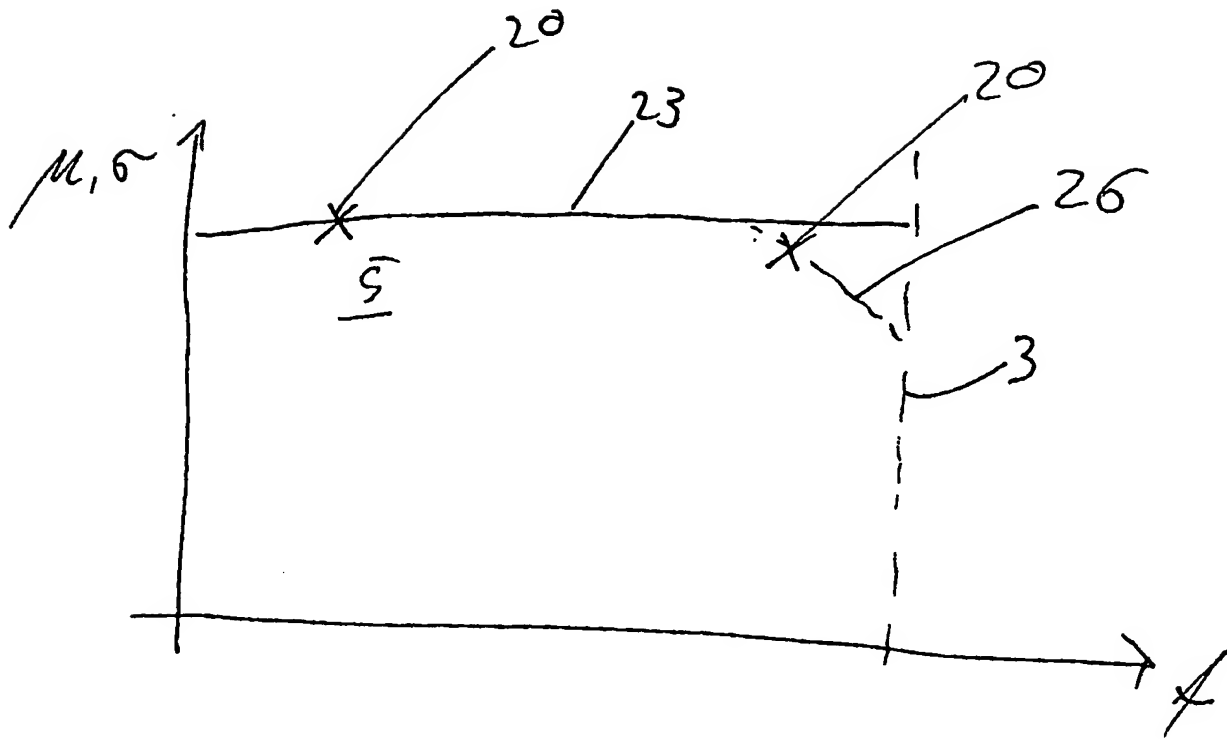


Fig. 4

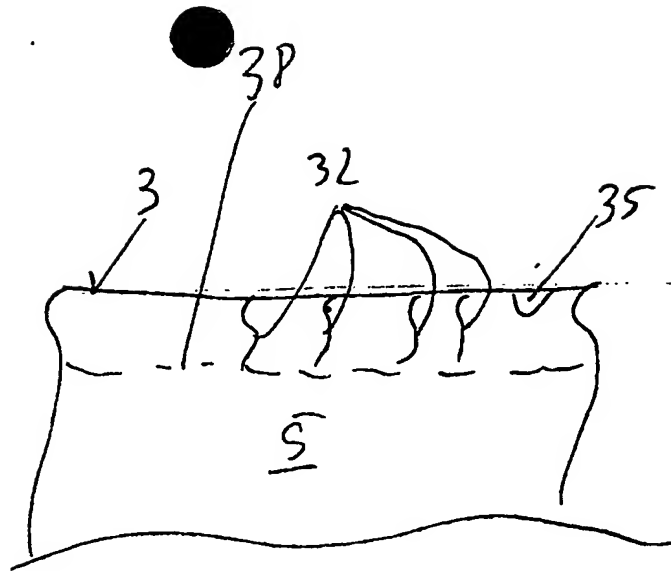


Fig 5

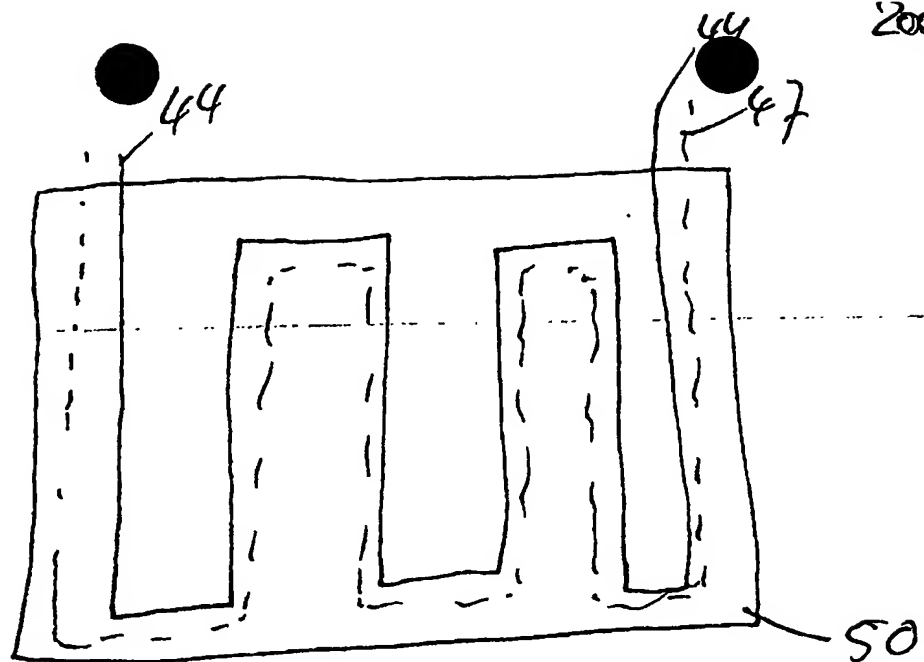


Fig. 6

Verfahren zur zerstörungsfreien Prüfung eines Bauteils sowie  
zur Herstellung einer Gasturbinenschaufel

- 5 Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur zerstörungsfreien Prüfung eines Bauteils.  
Die Erfindung betrifft weiterhin ein Verfahren zur Herstellung einer Gasturbinenschaufel.

- 10 Die WO 97/23762 offenbart ein Verfahren zur Schichtdickenmessung, das davon ausgeht, dass eine elektrisch leitende Schicht auf einem Grundwerkstoff vorliegt, wobei die Leitfähigkeiten von Schicht und Grundwerkstoff  
15 unterschiedlich sein müssen. Das Verhältnis der Leitfähigkeit von Schicht und Grundwerkstoff ist auf ein Verhältnis von 0,7 bis 1,5 eingeschränkt. Außerdem werden insbesondere Wechselströme in einem Bereich von 1,5 bis 3,5 MHz verwendet.

- 20 Die GB 22 79 75 A1 beschreibt Leitfähigkeitsmessungen im oberflächennahen Bereich für Werkstoffe mit hoher magnetischer Permeabilität, die man nur in magnetischer Sättigung prüfen kann.

- 25 Die US-PS 5,793,206 beschreibt eine Messsonde zur Schichtdickenmessung.

Diese Verfahren beziehungsweise die Sonden haben den Nachteil, dass sie nur Schichtdicken bestimmen können.

30

- In dem Buch von H. Blumenauer "Werkstoffprüfung", 5. Aufl., VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig 1989, ist die zerstörungsfreie Werkstoffprüfung mit dem Wirbelstromverfahren beschrieben. Es beruht darauf, dass das elektromagnetische Wechselfeld einer von Wechselstrom durchflossenen Spule verändert wird, wenn eine metallische Probe in  
35



ihren Wirkungsbereich gebracht wird. Durch das Primärfeld der Spule wird in der zu untersuchenden Probe eine Wechselspannung induziert, die ihrerseits einen Wechselstrom erzeugt, der seinerseits wiederum ein magnetisches Wechselfeld erzeugt. Dieses sekundäre Wechselfeld wirkt charakteristisch 5 erweise dem Primärfeld entgegen und verändert somit dessen Parameter. Die Veränderung lässt sich messtechnisch erfassen. Dazu wird beispielsweise bei Spulen mit Primär- und Sekundärwicklung die Sekundärspannung gemessen (transformatorisches 10 Prinzip). Oder es wird, beispielsweise bei Spulen mit nur einer Wicklung, deren Scheinwiderstand ermittelt (parametrisches Prinzip). Gemäß der in einem Wechselstromkreis geltenden Gesetze wird durch die Induktion in der Spule und in der Probe bei der parametrischen Anordnung außer dem Ohm'schen 15 Widerstand noch ein induktiver Widerstand erzeugt und bei der transformatorischen Anordnung außer der realen Messspannung noch eine imaginäre Messspannung erzeugt. Beide Anteile werden in komplexer Form in der Scheinwiderstandsebene bzw. der komplexen Spannungsebene dargestellt. In diesen beiden Bei- 20 spielen macht sich die zerstörungsfreie Werkstoffprüfung den Effekt zu Nutze, dass die Veränderungen des Primärfeldes von den physikalischen und geometrischen Probeneigenschaften sowie den Geräteeigenschaften abhängen. Geräteeigenschaften sind u.a. die Frequenz, die Stromstärke, die Spannung und die 25 Windungszahl der Spule. Probeneigenschaften sind u.a. elektrische Leitfähigkeit, Permeabilität, Probenform sowie Werkstoffinhomogenitäten im Bereich der Wirbelströme. Neuere Geräte zur induktiven Prüfung erlauben Messungen bei mehreren Anregungsfrequenzen. Dazu kann beispielsweise die Frequenz 30 während einer Messung automatisch verändert werden, oder die Frequenz wird vom Benutzer während zweier Messungen manuell verstellt. Die Frequenz hat einen wesentlichen Einfluss auf die Eindringtiefe der Wirbelströme. Es gilt näherungsweise:

$$35 \quad \delta = \frac{503}{\sqrt{f \cdot \sigma \cdot \mu_r}}$$

$\delta$  [mm] Eindringtiefe,

$f$  [Hz] Frequenz,

$\sigma$  [MS/m = m/( $\Omega$ mm<sup>2</sup>)] spezifische Leitfähigkeit,

$\mu_r$  relative Permeabilität.

5

Die Standardeindringtiefe verringert sich mit wachsender Frequenz.

10 In dem Artikel "Non-Destructive Testing of Corrosion Effect  
on High Temperature Protective Coatings" von G. Dibelius,  
H.J. Krischel und U. Reimann, VGB Kraftwerkstechnik 70  
(1990), Nr. 9, ist eine zerstörungsfreie Prüfung von Korrosi-  
onsprozessen in Schutzschichten von Gasturbinenschaufeln be-  
schrieben. Eine Messmethode bei Nickel-basierten Schutz-  
15 schichten ist die Messung der magnetischen Permeabilität auf-  
grund eines sich im Korrosionsprozess ändernden Ferromagne-  
tismus, d.h. der Werkstoff weist eine sehr hohe relative  
magnetische Permeabilität (> 100 -1000) auf, in der  
Schutzschicht. Für den Fall eines Platin-Aluminium-  
20 Schutzschichtsystems wird die Möglichkeit der Wirbel-  
strommessung diskutiert. Aufgrund der gemessenen Signalhöhen  
kann auf eine Schichtdicke der Schutzschicht geschlossen wer-  
den.

25 In dem Artikel "How to cast Cobalt-Based Superalloys" von  
M.J. Woulds in: Precision Metal, April 1969, S. 46, sowie in  
dem Artikel von M.J. Woulds und T.R. Cass, "Recent Develop-  
ments in MAR-M Alloy 509", Cobalt, Nr. 42, Seiten 3 bis 13,  
ist beschrieben, dass es beim Gießen von Bauteilen wie auch  
30 Gasturbinenschaufeln zur Reaktion der erstarrenden oder be-  
reits erstarrten Bauteiloberfläche mit dem Material der Guss-  
schale kommen kann. Dabei kann es z.B. zur Oxidation von Car-  
biden im Gussbauteil kommen. Ein solcher Vorgang wird hier  
weiterhin als "Inner Carbiden Oxidation", ICO, bezeichnet.  
35 Die Entstehung von ICO hat einen Abbau von die Korngrenzen  
einer Legierung verstärkenden Carbiden zur Folge.  
Insbesondere im oberflächennahen Bereich einer

Gasturbinenschaufel kann dies zu einer erheblichen Materialschwächung führen. Die Legierungen werden üblicherweise im Vakuumguss vergossen. Der zur Oxidation erforderliche Sauerstoff kommt aus dem Material der

5 Gussschale, z.B. Siliziumdioxid, Zirkondioxid oder Aluminiumoxid. Dadurch entstehen Oxidphasen auf den Korngrenzen. Die ursprünglichen Carbide werden beispielsweise zu Zirkon-, Titan- oder Tantal-reichen Oxiden transformiert. Die Tiefe des Bereichs, der oxidierte Carbide enthält, ist von Parametern abhängig, wie dem Kohlenstoffgehalt in der Legierung, 10 der Zusammensetzung von Gussschalenmaterial und Gusslegierung oder auch der Abkühlgeschwindigkeit. Typischerweise kann eine solche oxidhaltige Schicht etwa 100 bis 300  $\mu\text{m}$  dick sein. Für eine Qualitätskontrolle ist es wünschenswert, die die mechanischen Eigenschaften beeinträchtigenden Oxidbereiche oxidiert 15 er Carbide nachweisen zu können. Zerstörungsfrei ist dies bisher nicht möglich.

Nickel- und Kobalt-Basislegierungen neigen unter bestimmten Umgebungsbedingungen zur Ausbildung einer Korrosionsform, die 20 Hochtemperatur-Korrosion (HTK) genannt wird. Aus werkstofftechnischer Sicht ist HTK eine an den Korngrenzen verlaufende, komplexe Sulfidation des Grundwerkstoffs. Mit voranschreitender HTK werden tragende Querschnitte von Bauteilen 25 geschwächt. Die Kenntnis der Tiefe des HTK-Angriffs ist wichtig, um die Betriebssicherheit und Restlebensdauer eines Bauteils abschätzen zu können, und um zu entscheiden, ob eine Aufarbeitung (z.B. Refurbishment von Gasturbinenschaufeln) möglich ist.

30

Es ist daher Aufgabe der Erfindung ein Messverfahren aufzuzeigen, mit dem sich auch Hochtemperaturkorrosion (degradierte Bereiche) eines Bauteils, die sich insbesondere entlang von Korngrenzen ausbildet, ermitteln lässt.

35 Weiterhin ist es Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren zur Herstellung einer Gasturbinenschaufel anzugeben, bei dem auf einen Grundkörper der Gasturbinenschaufel eine

Korrosionsschutzschicht aufgebracht wird, wobei Qualität und Lebensdauer der Korrosionsschutzschicht besonders hoch sind.

5 Diese Aufgaben werden erfindungsgemäß gelöst durch die Verfahren gemäß Patentanspruch 1 bzw. 10. Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung ergeben sich aus den Unteransprüchen.

10 Erfindungsgemäß wird die auf ein Verfahren zur zerstörungsfreien Prüfung eines Bauteils gerichtete Aufgabe gelöst durch ein Verfahren zur zerstörungsfreien Prüfung, bei dem zwei verschiedene Messfrequenzen benutzt werden.

15 Erfindungsgemäß wird die auf ein Herstellungsverfahren gerichtete Aufgabe gelöst durch ein Verfahren zur Herstellung einer Gasturbinenschaufel, bei dem ein Grundkörper der Gasturbinenschaufel gegossen, die Oberfläche des Grundkörpers für das Aufbringen einer Korrosionsschutzschicht gereinigt und aktiviert und anschließend die Korrosionsschutzschicht  
20 aufgebracht wird, wobei nach dem Gießen und vor der Reinigung und Aktivierung mittels einer Wirbelstrommessung die Oberfläche auf das Vorhandensein von Oxidbereichen oxidierteter Carbide untersucht wird.

25 Gerade bei einer Gasturbinenschaufel kommt es aufgrund der sowohl hohen thermischen als auch mechanischen Belastungen in besonderem Maße auf ein fehlerfreies Gefüge des Grundwerkstoffs an. In diesem Bereich ist also eine Qualitätsüberprüfung hinsichtlich ICO-haltiger bzw. korrodierter  
30 Bereiche von großem Wert.

Vorzugsweise ist die Legierung eine Nickel- oder Kobaltbasis-Superlegierung. Solche Superlegierungen sind im Gasturbinenbau bestens bekannt und zeichnen sich insbesondere durch eine  
35 besondere Hochwarmfestigkeit aus. Gerade solche Superlegierungen neigen aber dazu, beim Gießen mit dem Sauerstoff der

Gussform zu reagieren und dabei die erwähnten ICO-Bereiche zu bilden.

Bei Gasturbinenschaufeln kommen häufig Korrosionsschutz-  
5 schichten zum Einsatz, die auf einen Grundkörper aufgebracht  
werden. Der Grundkörper ist dabei vorzugsweise aus einer Nic-  
kel- oder Kobaltbasis-Superlegierung gebildet. Weiter bevor-  
zugt besteht die Schutzschicht aus einer Legierung der Art  
MCrAlY, wobei M ausgewählt ist aus der Gruppe (Eisen, Kobalt,  
10 Nickel), Cr Chrom, Al Aluminium und Y Yttrium ausgewählt ist  
aus der Gruppe (Yttrium, Lanthan, Seltene Erden). Eine solche  
Schutzschicht erfordert eine Vorbehandlung der Oberfläche des  
Grundkörpers um eine dauerhafte Haftung zwischen dem Grund-  
körper und der Schutzschicht zu gewährleisten. Ein geeigneter  
15 Reinigungsprozess, der gleichzeitig die Oberfläche für die  
gute Verbindung mit der Schutzschicht aktiviert, ist ein  
Sputter-Prozess, bei dem Ionen auf die Grundkörperoberfläche  
beschleunigt werden und die Oberfläche dabei über ihre kine-  
tische Energie reinigen und aktivieren. Versuche haben nun  
20 ergeben, dass ICO-Bereiche in der Oberflächenschicht eine ge-  
eignete Reinigung und Aktivierung der Grundkörperoberfläche  
verhindern. Die ICO-Bereiche können durch den Sputter-Prozess  
nicht abgetragen werden. Sie werden regelrecht freigelegt,  
weil Metall oder Verunreinigungen, die sie zum Teil verdeckt  
25 haben, bevorzugt abgetragen werden, nicht aber die Oxide  
selbst. Dies führt zu einer wesentlichen Beeinträchtigung der  
Haftung der Schutzschicht auf dem Schaufelgrundkörper.

Um bereits vor dem aufwendigen Reinigungs- und Beschichtungs-  
30 prozess bei einer Gasturbinenschaufel eine Aussage treffen zu  
können, ob ICO-haltige Bereiche an der Oberfläche des Grund-  
körpers vorhanden sind, wird die Wirbelstrommessung einge-  
setzt. Hierdurch ist man nun erstmals in der Lage, kostengün-  
stig bereits im Vorfeld die Schaufeln mit ICO-haltigen Berei-  
35 chen über einen Schleifprozess zu reinigen oder bereits im  
Vorfeld auszusondern. Erfolgreich gereinigte Schaufeln oder  
von vorn herein nicht ICO-Bereich-belastete Schaufeln werden

sodann mit der Schutzschicht versehen, was vorzugsweise durch ein Plasmaspritzen geschieht.

Die Zusammensetzung der Grundkörper-Superlegierung ist bevorzugt wie folgt (Angaben in Gewichtsprozenten):

24% Chrom, 10% Nickel, 7% Wolfram, 3,5% Tantal, 0,2% Titan, 0,5% Zirkon, 0,6% Kohlenstoff und der Rest Kobalt. Diese Legierung wird auch unter dem Handelsnamen MAR-M 509 geführt.

10

Die Erfindung wird anhand der Zeichnung beispielhaft näher erläutert. Es zeigen teilweise schematisch und nicht maßstäblich:

- 15 Figur 1 ein Verfahren zur Prüfung einer Gasturbinenschaufel auf ICO-Bereiche,  
Figur 2 eine Gasturbinenschaufel mit sichtbaren ICO-Bereichen,  
Figur 3 einen Teil eines Längsschnittes durch den Grundkörper  
20 einer Gasturbinenschaufel mit einer ICO-Schicht,  
Figur 4 Messkurven, die bei dem erfindungsgemässen Verfahren ermittelt werden,  
Figur 5 schematisch einen oberflächennahen Bereich eines Bauteils, das degradiert ist, und  
25 Figur 6 eine beispielhafte Sonde für das erfindungsgemässe Verfahren.

Gleiche Bezugszeichen haben in den verschiedenen Figuren die gleiche Bedeutung.

30

Es hat sich überraschenderweise herausgestellt, dass die degradierten Bereiche, insbesondere die Oxidbereiche  
35 oxidierten Carbide (ICO, siehe oben) bzw. die Korrosionsbereiche von sulfidiertem Grundwerkstoff mit hinreichender Genauigkeit über eine Wirbelstrommessung nachge-

wiesen werden können. Eine solche Wirbelstrommessung beruht, wie oben ausgeführt, insbesondere auf der vom Grundmaterial verschiedenen elektrischen Leitfähigkeit innerhalb der degradierten oder der ICO-Bereiche. Versuche konnten

5 weiterhin belegen, dass die Empfindlichkeit des Verfahrens sogar ausreicht, eine Bestimmung der Tiefe der vorliegenden ICO-haltigen Bereiche (bspw. schichtförmig angeordnet oder bis zu einer gewissen Schichtdicke vorhanden) zu bestimmen. Wie oben ausgeführt, sind dazu Wirbelstrommessungen bei

10 unterschiedlichen Anregungsfrequenzen (Messfrequenzen) nötig. Bei geeignet tiefen Frequenzen ist die Wirbelstromausbreitung in dem ICO-haltigen Bereich zu vernachlässigen, so dass die Messung nur durch die Eigenschaften des Grundwerkstoffes bestimmt wird. In einem Übergangsbereich wird die Änderung

15 des Primärfeldes durch die Wirbelströme sowohl im ungestörten Grundwerkstoff als auch in dem ICO-haltigen Bereich bedingt. Ab einer gewissen Frequenzhöhe breitet sich das Wirbelstromfeld nur in dem ICO-haltigen Bereich aus. Es tritt demzufolge ein definierter Übergang in der Messgröße (z.B.

20 Leitfähigkeit oder Permeabilität) als Funktion der Anregungsfrequenz auf. Durch Korrelation der Frequenz, bei welcher der Einfluss der ICO-haltigen Schicht überwiegt, mit der Eindringtiefe des Wirbelstromfeldes lässt sich die Tiefe des ICO-haltigen Bereichs bestimmen.

25

Figur 1 zeigt schematisch ein Verfahren zur zerstörungsfreien Prüfung eines Bauteils 5, insbesondere einer Gasturbinenschaufel 1, mittels eines Wirbel-

30 stromprüfverfahrens. Die Gasturbinenschaufel 1 weist eine Oberfläche 3 auf. Auf der Oberfläche 3 ist in einem Teilbereich eine Schutzschicht 7 aufgebracht, welche der Vollständigkeit halber in Figur 1 aufgenommen wurde, obwohl das Aufbringen dieser Schutzschicht 7 erst nach einer

35 erfolgten Wirbelstromprüfung durchgeführt wird. In der Oberfläche 3 ist ein degradierte Bereich, bspw. ein Korrosionsbereich 9 oder ein Oxidbereich 9 oxidierte Carbide durch

eine Reaktion mit einer nicht dargestellten Formschale im Gussprozess beim Abgießen der Gasturbinenschaufel 1 entstanden. Durch Reaktion mit Sauerstoff aus dieser Formschale haben sich in diesem Korrosionsbereich 9 bzw. Oxidbereich 9 Carbide in Oxide umgewandelt. Ebenso können in der Oberfläche 3 durch Hochtemperaturkorrosion, bspw. im Einsatz, ein Korrosionsbereich 9 von sulfidiertem Grundmaterial entstanden sein.

Dies führt einerseits dazu, dass die Festigkeit des Grundkörpermateri- als in diesem Bereich herabgesetzt ist, da die die Korngrenzen verfestigende Wirkung der Carbide entfällt.

Weiterhin hat dies zur Folge, dass ein vor dem Aufbringen der Schutzschicht 7 erfolgreicher Reinigungs- und Aktivierungsprozess mittels eines Sputterns im

Korrosionsbereich 9 ohne Wirkung bleibt. Hierdurch wird die Haftung der Schutzschicht 7 auf dem Grundkörper 5 erheblich beeinträchtigt.

Um bereits vor dem aufwendigen Reinigungs- und Beschichtungsprozess störende Korrosionsbereiche 9 zu

ermitteln, wird ein Wirbelstrommessverfahren angewandt. Hierzu wird eine Wirbelstromsonde 11 über die Oberfläche 3 geführt, die direkt auf der Oberfläche 3 aufliegt.

Auf einem flexiblen Kunststoffträger 15 sind elektrische Spulen 13 angeordnet, durch die mittels eines Wechselstroms durch die Spulen 13 ein magnetisches Feld erzeugt wird.

Dieses induziert in der Oberfläche 3 elektrische Ströme, die wiederum über ihr Magnetfeld in die Spulen 13 zurückkoppeln. Dies wird als Signal 19 in einer Auswerteeinheit 17 sichtbar, die mit der Wirbelstromsonde 11 verbunden ist. Abhängig

insbesondere von der elektrischen Leitfähigkeit, aber auch von der magnetischen Permeabilität des Materials im Bereich der Wirbelstromsonde 11 ergibt sich ein unterschiedlich starkes Signal 19. Durch eine unterschiedliche elektrische Leitfähigkeit und magnetische Permeabilität in dem

Korrosionsbereich 9 ist dieser mittels der Wirbelstromsonde 11 detektierbar.



Darüber hinaus kann durch eine Frequenzveränderung im Wechselfeld der Wirbelstromsonde 11 eine Tiefenbestimmung für den Korrosionsbereich 9 durchgeführt werden. Somit ist es erstmals möglich, zerstörungsfrei Korrosionsbereiche (ICO) 9 nachzuweisen. Dies hat insbesondere erhebliche Kostenvorteile als Konsequenz, da die Schaufeln bereits vor einem aufwendigen Reinigungs- und Beschichtungsprozess sauber geschliffen bzw. ausgesondert werden können.

10

Figur 2 zeigt nach einem Reinigungs- und Aktivierungsprozess mittels Sputtern sichtbar gewordene ICO-Bereiche 9 bei einer Gasturbinenschaufel 1. Die ICO-Bereiche 9 sind hier insbesondere konzentriert in einem Übergangsbereich zwischen dem Schaufelblatt 21 und dem Befestigungsbereich 23.

15

In Figur 3 ist in einem Längsschnitt die Ausbildung eines ICO-Bereichs 9 an der Oberfläche 3 des Bauteils 5 dargestellt. Das Bauteil 5 besteht aus der oben genannten MAR-M 509 Kobaltbasis-Superlegierung. Die Dicke der ICO-Schicht liegt bei ca. 100  $\mu\text{m}$ .

20

Figur 4 stellt die Messkurven dar, die man mit dem erfindungsgemässen Verfahren ermittelt. Bestimmt wird die magnetische Permeabilität  $\mu$  (und daraus die relative magnetische Permeabilität  $\mu_r$ ) oder die elektrische Leitfähigkeit ( $\sigma$ ) in Abhängigkeit von der Frequenz  $f$ . Die verwendeten Werkstoffe haben eine sehr geringe magnetische Permeabilität  $\mu_r$  ungefähr gleich 1 (1,001) oder maximal 1,2.

30

Eine Messsonde (Fig. 6) wird auf den Grundwerkstoff oder das Substrat aufgelegt, wobei dann die Frequenz  $f$  in einem Bereich von 500 kHz bis 35 MHz verändert wird.

35

Je grösser die Frequenz wird, desto kleiner wird das Wechselwirkungsvolumen, das durch die Wirbelströme erzeugt wird.

5 So werden zumindest zwei Messpunkte 20 gemessen.

Bei kleinen Frequenzen  $f$  ist das Wechselwirkungsvolumen sehr groß, so dass fast ausschließlich nur die Eigenschaften des Grundwerkstoffs gemessen werden und Veränderungen dieser Grössen im oberflächennahen Bereich vernachlässigbar sind.

10 Diese Art der Messung ist vergleichbar mit einem nichtkorrodierten Grundwerkstoff.

Die Messkurve 23 des Grundwerkstoffs ist also schon durch einen einzigen Messpunkt bestimmt, da diese eine Parallele zur Frequenzachse ergibt. Es können jedoch auch noch mehr

15 Messpunkte 20 zur Bestimmung der Parallelen aufgenommen werden.

Nachdem man mit kleinen Frequenzen  $f$ , also bei grossen Wechselwirkungsvolumen (Eindringtiefen), die nur die

20 Eigenschaften des Substrats ergeben, begonnen hat, wird die Frequenz  $f$  weiter erhöht (2. Messpunkt), wodurch das Wechselwirkungsvolumen (Eindringtiefe) kleiner wird. Das Wechselwirkungsvolumen wird so klein, dass es sich fast ausschließlich nur noch im Bereich der Oberfläche 3 des

25 Bauteils 5 befindet. Gerade in diesem Bereich sind bspw. ausschliesslich oder sehr häufig degradierte, d.h.

korrodierte, oxidierte oder sulfidierte Bereiche vorhanden.

Die magnetische Permeabilität oder elektrische Leitfähigkeit dieser degradierten Bereiche ist verändert und ergibt eine

30 Abweichung der Messkurve 26 des Bauteils 5.

Somit können in einem Frequenzscan die Eigenschaften des Grundwerkstoffs und die Lage und Grösse der korrodierten Bereiche ermittelt werden.

35 Der zu untersuchende Bereich muss nicht in magnetischer Sättigung liegen.

Figur 5 zeigt einen oberflächennahen Bereich eines Bauteils, das korrodiert ist.

Ausgehend von der Oberfläche 3 sind Korngrenzen 32 vorhanden, die oxidiert, korrodiert oder auf sonstige Art und Weise  
5 degradiert sind. Dies können auch oxidierte Ausscheidungen sein. Ebenso können im Bereich der Oberfläche 3 Löcher 35 vorhanden sein, bei denen schon Material aus der Oberfläche 3 herausgebrochen sind. Bei entsprechend hoch genug gewählter Frequenz  $f$  ist das Wechselwirkungsvolumen 38 so ausgebildet,  
10 dass es an die korrodierten Bereiche 9 angrenzt. Das Messsignal wird dann von den korrodierten Korngrenzen 32 und den Löchern 35 in einem stärkeren Maße beeinflusst. Diese Veränderung wird mit dem Messsignal registriert und zeigt an, dass eine Störung des Bauteils oder des Substrats vorliegt.  
15

Figur 6 zeigt eine beispielhafte Sonde 11, die für dieses Messverfahren geeignet ist.

Eine Erregerspule 44 und eine Signalspule 47 sind  
20 mäanderförmig auf einem Substrat oder einer Folie 50 angeordnet. Zur näheren Anordnungsweise und Funktionsweise der Spulen wird auf die US-PS 5,793,206 verwiesen. Diese Patentschrift soll ausdrücklich in die Offenbarung dieser Anmeldung einbezogen sein. Im Gegensatz zur bisherigen  
25 Verwendung dieser Sonde (Schichtdickenmessung), wird diese Spule 11 mit verschiedenen Frequenzen  $f$  beaufschlagt, wie es schon in Figur 4 beschrieben wurde.

## Patentansprüche

1. Verfahren zur zerstörungsfreien Prüfung eines Bauteils  
5 (5),  
insbesondere einer Gasturbinenschaufel (1),  
bei dem mittels einer Wirbelstrommessung Bereiche (9) des  
Bauteils (5),  
die degradiert sind,  
10 ermittelt werden,  
wobei zur Wirbelstrommessung mindestens zwei verschiedene  
Messfrequenzen (f) verwendet werden.
- 15 2. Verfahren nach Anspruch 1,  
bei dem oberflächennahe Oxidbereiche (9) oxidierten  
Carbide des Bauteils (5) die degradierten Bereiche (9)  
darstellen.
- 20 3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2,  
bei dem das Bauteil (5) aus einer carbidhaltigen Legierung  
besteht.
- 25 4. Verfahren nach Anspruch 1,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass  
das Bauteil (5) aus einer Nickel- oder Kobalt-basierten  
30 Superlegierung besteht.

5. Verfahren nach Anspruch 1,  
dadurch gekennzeichnet, dass

5 bei dem oberflächennahe sulfidierte Bereiche (9) des Bauteils (5) die degradierten Bereiche (9) darstellen.

6. Verfahren nach Anspruch 1,  
dadurch gekennzeichnet, dass

10 eine Messsonde mit mäanderförmigen Spulen verwendet wird.

7. Verfahren nach Anspruch 1 oder 4,

15 dadurch gekennzeichnet, dass

die relative magnetische Permeabilität des Bauteils (5) kleiner oder gleich 1,2 ist.

20

8. Verfahren nach Anspruch 1,

dadurch gekennzeichnet, dass

25 eine Frequenz (f) zur Wirbelstrommessung im Bereich von 500 kHz bis 35 MHz liegt.

9. Verfahren nach Anspruch 1,

30 dadurch gekennzeichnet, dass

eine Messsonde (11) zur Wirbelstrommessung direkt auf der Oberfläche (3) des Bauteils (5) aufliegt.

35

10. Verfahren zur Herstellung einer Gasturbinenschaufel, bei dem ein Grundkörper (5) der Gasturbinenschaufel (1)

gegossen,

die Oberfläche (3) des Grundkörpers (5) für das Aufbringen einer Korrosionsschutzschicht (7) gereinigt und aktiviert und anschliessend die Korrosionsschutzschicht (7) aufgebracht wird,

wobei nach dem Gießen und vor der Reinigung und Aktivierung mittels einer Wirbelstrommessung die Oberfläche (29) auf das Vorhandensein von degradierten Bereichen untersucht wird.

11. Verfahren zur nach Anspruch 10,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass

zur Wirbelstrommessung mindestens zwei verschiedene Messfrequenzen (f) verwendet werden.

12. Verfahren nach Anspruch 10,

bei dem der Grundkörper (5) aus einer Nickel- oder Kobalt-basis-Superlegierung besteht.

13. Verfahren nach Anspruch 1 oder 10,

bei dem die Schutzschicht (7) oder das Bauteil (5) zumindest teilweise aus einer Legierung der Art MCrAlY besteht,

wobei M ausgewählt ist aus der Gruppe (Fe, Co, Ni), Cr Chrom, Al Aluminium und

Y ausgewählt ist aus der Gruppe (Y, La, Seltene Erde).

14. Verfahren nach Anspruch 1 oder 10,  
bei dem die degradierten Bereiche (9) eine geringe  
elektrische Leitfähigkeit aufweisen.

5

15. Verfahren nach Anspruch 1 oder 10,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
zuerst eine tiefe Frequenz (f) und dann eine hohe Frequenz  
(f) verwendet wird.

10

16. Verfahren nach Anspruch 1 oder 10,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
die Frequenz (f) kontinuierlich von einer tiefen Frequenz  
(f) zu einer hohen Frequenz (f) in einem Frequenzscan  
verändert wird.

15

20

17. Verfahren nach Anspruch 1 oder 10,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
in einem der ersten Verfahrensschritte eine Messgrösse des  
Grundwerkstoffs und  
in einem folgenden Verfahrensschritt eine Messgrösse des  
degradierten Bereichs gemessen wird.

25

18. Verfahren nach Anspruch 17,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
sich die Messgrösse während der Wirbelstrommessung in  
Abhängigkeit von der Frequenz (f) verändert.

30

35

---

19. Verfahren nach Anspruch 16,  
dadurch gekennzeichnet, dass

5

die Messgrösse die magnetische Permeabilität  $\mu$  oder die  
elektrische Leitfähigkeit ( $\sigma$ ) ist.



## Zusammenfassung

Verfahren zur zerstörungsfreien Prüfung eines Bauteils sowie zur Herstellung einer Gasturbinenschaufel

5

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur zerstörungsfreien Prüfung eines Bauteils (5), bei der mittels einer Wirbelstrommessung oberflächennahe Korrosionsbereiche (9) oxidierter Carbide bzw. oberflächennahe sulfidierten Grundma-

10

terials ermittelt werden.  
Hierdurch kann insbesondere bereits vor einem aufwendigen Reinigungs- und Beschichtungsprozess der Gasturbinenschaufel ein Abschleifen bzw. Aussondern der Schaufeln erfolgen.

15

Figur 1

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☒ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**